기판과 선로 특성에 따른 RFID 태그 안테나 성능 분석

조치현*, 추호성*, 박익모**
*홍익대학교 전자전기공학부, 서울시 마포구 상수동 72-1
**아주대학교 전자공학부, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5

On the Performance of RFID Tag Antenna with Various Substrates and Metal-lines

Chihyun Cho*, Hosung Choo*, Ikmo Park**
*School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University, Seoul, Korea
** Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University, Suwon, Korea

E-mail: hschoo@hongik.ac.kr

Abstract

In this paper, we investigated the effects of substrate and metal-line on the performance of RFID tags. The performances of the meander dipole and the patch type antennas were analyzed using Pareto GA. The results showed that readability of the meander dipole tag antenna with a high-loss substrate could be increased so that it was similar to that of a low-loss substrate if the thickness of substrate was very thin. The readability of the tag antenna decreased significantly when the metal line was thinner than the skin depth. Also, in the designing of the patch type tag, the substrate of the antenna should have low loss tangent for long readability.

I. 서론

최근 Radio frequency identification (RFID)가 대형마트, 보안 시스템, 교통 카드 등 다양한 분야에 폭넓게 사용되고 있다. 특히 UHF 대역 RFID는 기존의 HF 대역에 비해 원거리 인식과 보다 많은 정보의 저장이 가능하기 때문에 많은 연구가 진행되었으나 태그 안테나의 기판과 선로 등에 따른 태그의 성능 변화에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 UHF 대역 태그 안테나의 기판과 선로 등의 설계변수에 따른 태그의 성능 변화에 관한 분석을 하였다.

일반적으로 많이 사용되는 다이폴 형태 태그의 성능 변화를 살펴보기 위해 미앤더 다이폴 안테나를 이용하였으며, 다양한 물체에 부착이 가능한 접지면을 갖는 태그 성능 변화를 분석하기 위해 패치 형태의 안테나를 이용하였다. 다양한 조건에 따라 태그 안테나의 성능을 최적화하기 위해 Pareto 유전자 알고리즘[1]과 IE3D EM 시뮬레이터[2]를 이용하였다. 또한 각 안테나들은 상용 태그 칩[3]의 임피던스에 정합되도록 설계되었으며, 기판과 선로의 종류와 따른 미앤더 다이폴 태그의 성능 변화를 분석하였으며, 기판의 손실이 패치 타입 태그의 성능 변화에 끼치는

본 논문은 서울시 산학연 협력사업의 지원하에 이루어졌음.

영향을 분석하였다.

II. 본론

태그 안테나는 유전체 기판과 금속 선로 및 태그 칩 등으로 구성되며, 구성되는 물질의 전기적 성질에 따라 태그의 인식거리 가 크게 변한다. 본 논문에서는 이러한 영향을 분석하기 위해 다양한 기판과 선로에 따라 태그 안테나의 성능을 최적화하였다. 주어진 조건에서 태그의 성능을 극대화하기 위해 Pareto 유전자 알고리즘과 IE3D EM 시뮬레이터를 이용하여 최적화하였으며, 최적화에 사용된 비용평가 함수는 다음과 같다.

$$Cost1 = \text{Antenna size} \quad (1)$$

$$Cost2 = 1 - R_{norm.} \quad (2)$$

여기에서 $R_{norm.}$ 은 수식 (3)을 이용하여 계산된 태그의 인식거리를 정규화한 값이다.

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G_{Tag}{}^2 G_{Reader}{}^2}{P_{R,min}} \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^4} \quad (3)$$

P_T는 리더 시스템에서 송출되는 전력을, G_{Tag}와 G_{reader}는 각각 리더와 태그 안테나의 이득을 의미하며, $P_{R,min}$은 리더 시스템에서 태그를 인식하기 위해 요구되는 최소한의 전력이다.

다이폴 안테나를 구성하는 기판과 선로의 특성과 안테나 크기에 따른 태그의 성능 변화를 분석하기 위해 구조가 간단한 미앤더 다이폴 태그 안테나를 이용하였으며 안테나 구조를 그림 1에 나타내었다. 대부분의 UHF 대역 태그 칩은 자체 전원을 가지고 있지 않고 외부의 리더로부터 전원을 획득한다. 따라서 내부 회로에 정류회로가 존재하고 이로 인해 태그 칩의 임피던스는 매우 커패시티브한 값을 가진다. 따라서 태그 칩으로 최대한의 전력을 공급해주기 위해서는 안테나의 임피던스가 인덕티브한 값을 가져 태그 칩의 임피던스에 공액 정합되어야 한다[4]. 본 논문에서는 미앤더 다이폴에 T 매칭 회로를 이용하여 태그 칩과의 공액 정합이 용이하도록 하였다.

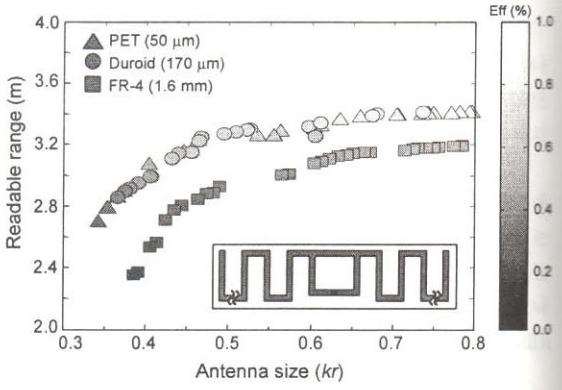

그림 1 기판에 따른 다이폴 태그 인식거리

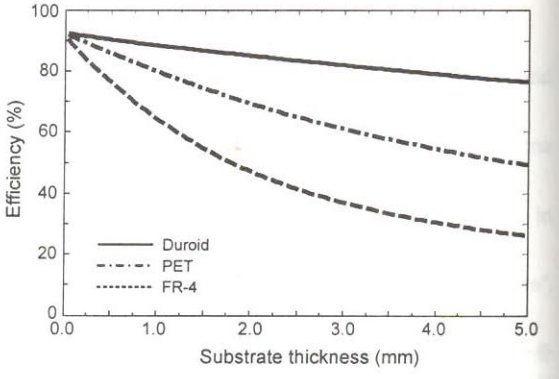

그림 2 기판의 두께에 따른 다이폴 태그 효율

그림 1은 각각 PET (ε_r: 3.9, tanδ: 0.003, thickness: 50 μm), Duroid (ε_r: 2.2, tanδ: 0.0009, thickness: 127 μm), FR-4 (ε_r: 4.25, tanδ: 0.02, thickness: 1.6 mm) 기판을 사용하여 태그의 인식거리를 최적화한 결과이다. 삼각형, 원형, 사각형은 각각 PET, Duroid, FR-4 기판을 나타내며, 안테나 복사효율에 따라 다른 명암으로 나타내었다. 안테나의 크기가 줄어들수록 복사효율이 감소하며, 이로 인하여 태그의 인식거리가 감소되는 것을 확인할 수 있다. 최적화된 안테나들은 태그 칩에 충분히 공액 정합되었지만, FR-4 기판을 사용한 태그의 인식거리 성능이 PET나 Duroid 기판에 비해 인식거리 성능이 다소 감소하였다. 이는 FR-4 기판을 사용한 태그의 효율이 다른 기판에 비해 약 20% 감소하였기 때문이다. 일반적으로 tanδ 값이 클수록 기판에 의한 손실이 증가하지만 PET의 경우 tanδ 값이 크더라도 기판의 두께가 매우 얇기 때문에 기판에 의한 손실이 크게

발생하지 않아 Duroid와 유사한 인식거리 성능을 보인다. 따라서 다이폴 형태의 태그 안테나 제작 시에는 가능한 얇은 기판을 이용해야 하며, 비록 tanδ의 값이 크더라도 PET와 같이 얇은 기판을 사용하면 고가의 저손실 기판과 유사한 성능을 가지는 안테나를 설계 할 수 있음을 보여준다. 그림 2는 기판의 두께에 따른 인식거리 변화를 보여준다. 실선과 일점 파선 및 파선은 각각 Duroid, PET, FR-4 기판을 나타내며, kr=0.6의 크기를 가지는 안테나를 이용하여 각 기판의 두께에 따라 최대 인식거리를 갖도록 최적화하였다. 가로축은 기판의 두께를, 세로축은 안테나 복사효율을 나타내며, 기판의 두께가 두꺼워질수록 안테나의 효율이 급격히 하락하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 기판이 0.4 mm 이하의 두께를 가지면 80% 이상의 복사효율을 가져 기판의 종류와 무관하게 커다란 손실이 발생되지 않는 것을 확인할 수 있다.

최근 저렴한 생산을 위해 안테나 패턴을 도전성 도료 등을 이용하여 인쇄하는 방법들이 개발되었다[5]. 그러나 도전성 도료들은 도전율이 감소하기 때문에 태그의 인식거리 성능을 감소시킬 수 있다. 그림 4는 silver ink(σ=1.6×10^6)와 구리 선로(σ=5.8×10^8)를 이용하여 태그 안테나 인식거리를 최적화한 결과이다. 최적화에 사용된 안테나 기판은 50 μm PET 기판을 이용하였다. 각각 구리선로와 silver ink는 삼각형과 사각형으로 나타내었으며, 안테나의 복사 효율을 명암으로 표시하였다. 안테나의 크기가 kr=0.55 보다 작아질수록 silver ink를 사용한 태그의 인식거리 성능이 구리 선로에 비해 급격히 인식거리가 감소하며 이는 silver ink가 구리 선로에 비해 작은 도전율을 가지고 있기 때문이다. 그림 4는 선로의 두께에 따른 태그 안테나의 인식거리 성능을 나타낸다. 최적화를 위해 50 μm PET 기판과 구리 선로를 이용하였으며, 안테나는 kr=0.6의 크기를 가지며 각각의 선로 두께에서 인식거리가 최대가 되도록 최적화하였다. 기판의 두께가 감소할수록 태그의 인식거리가 감소하며 이는 안테나의 복사효율이 점차 줄어들기 때문이다. 특히 기판의 두께가 0.7 μm 보다 감소하면 태그의 인식거리가 급격히 감소하며 이는 안테나 선로가 표피두께(skin depth: 900MHz 에서 약 0.7 μm)보다 얇아지면서 선로에서 급격한 손실이 발생되기 때문이다. 따라서 태그 안테나의 선로는 최소한 표피 두께 이상으로 제작해야 한다.

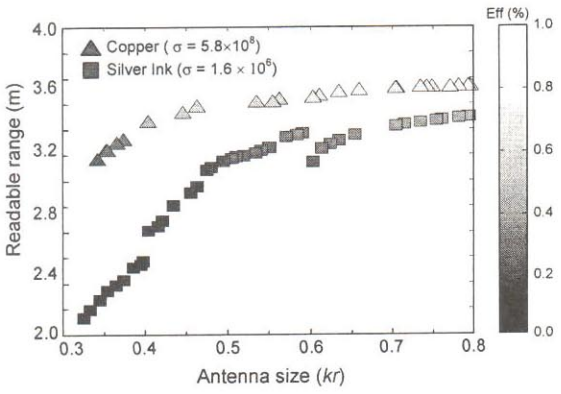

그림 3 선로에 따른 다이폴 태그 인식거리

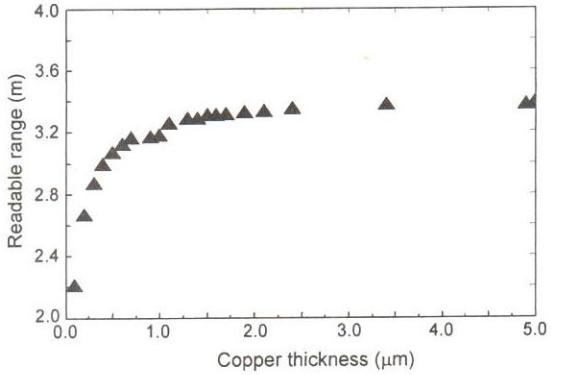

그림 4 선로 두께에 따른 다이폴 태그 인식거리

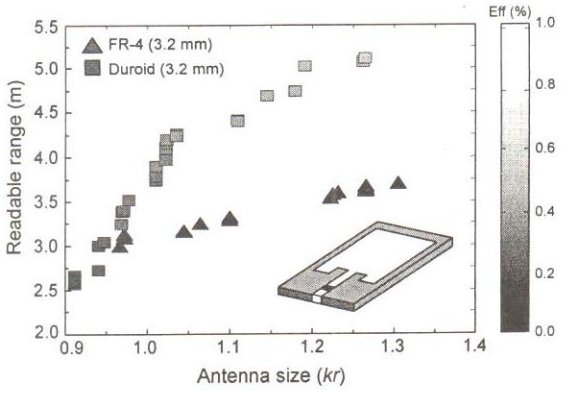

그림 5 기판에 따른 패치형 태그 인식거리

일반적으로 다이폴 형태의 안테나는 태그가 부착되는 물체나 주변 환경에 따라 태그의 인식거리 성능이 크게 변하는 단점이 있다. 최근 이러한 문제점들을 해결하기 위해 패치형 안테나를 이용하여

태그를 구성하는 다양한 방법들이 연구되었다 [6-7]. 이러한 안테나들은 자체 접지면을 가지고 있으므로 다양한 유전체뿐만이 아니라 금속 도체에도 부착하여 사용이 가능한 장점이 있다. 본 논문에서는 간단한 구조의 패치 안테나를 이용하여 기판에 따른 태그 안테나의 성능을 분석하였다. 최적화에 사용된 안테나 구조를 그림 5에 나타내었다. 안테나는 기판과 넓은 패치면, 태그 칩, 접지면으로 구성되며, 패치면과 접지면을 단락핀으로 연결하였다. 패치면과 접지면 사이에 태그 칩이 위치하며, 태그 칩과의 공액 정합을 위해 패치면에 슬롯이 삽입되었다. 각각 FR-4 와 Duroid 기판을 이용하여 태그 인식거리를 최적화한 결과를 그림 5에 나타내었다. 가로축은 안테나의 크기, 세로축은 태그의 인식거리를 나타내며 안테나의 복사효율에 따라 다른 명암으로 각각 삼각형과 사각형으로 표시하였다. 삼각형은 FR-4 기판을, 사각형은 Duroid 기판을 의미하며 각 기판의 두께는 동일하게 3.2 mm이다. 패치형 안테나는 미앤더 다이폴 태그에 비해 지향성이 높기 때문에 최대 인식거리가 약 1.5배 증가하엿으며, 안테나의 크기가 증가할수록 패치면이 넓어지고 지향성이 증가하여 인식거리가 상승한다. 또한 FR-4 기판은 안테나의 복사효율이 낮아 태그 칩과 충분히 매칭되더라도 Duroid 기판에 비해 인식거리가 줄어든다. 그림 6은 3.2 mm 두께의 기판을 사용할 시, 패치형 패치 최대 복사효율을 tanδ 에 따라 나타낸 결과이다. 기판의 tanδ 값이 커질수록 기판에 의한 손실이 크게 증가하여 안테나 복사효율이 감소한다. 따라서 패치형 안테나 구조를 이용한 태그의 경우에는 손실이 적은 기판을 사용할수록 안테나 복사효율이 감소되지 않아 원거리 인식이 가능하다.

III. 결론

본 논문에서는 미앤더 다이폴과 패치 형태의 안테나를 이용하여 기판과 선로에 의한 태그의 성능 변화를 분석하였다. 다양한 조건에 따라 태그 안테나의 성능을 최적화하기 위해 Pareto 유전자 알고리즘과 IE3D EM 시뮬레이터를 이용하였다. 다이폴 형태의 태그 안테나 제작 시에는 기판에 의해 발생되는 손실을 최소화하기 위해 가능한 얇은 기판을 사용해야

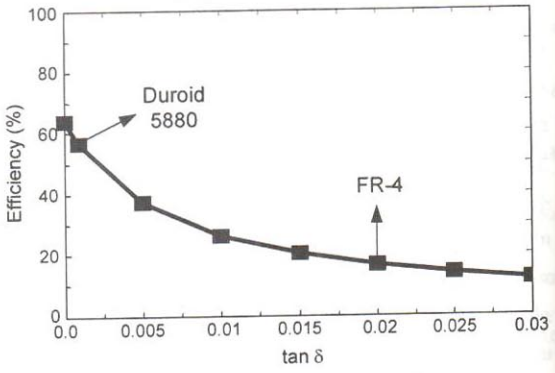

그림 6 기판 손실에 패치형 태그 효율

하며, 선로에 의한 손실을 최소화하기 위해서는 선로의 두께를 표피두께 이상으로 해야 한다. 또한 패치 형태의 태그 안테나 제작시에는 가능한 손실이 적은 기판을 사용해야 원거리 인식이 가능하다.

참고문헌

[1] J. Horn, N. Nafpliotis and D. E. Goldberg, "A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization," in *Proc. First IEEE Conf. Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 82-87, June 1994.

[2] http://www.zeland.com/ie3d.html, Zeland Software, "IE3D MoM-based EM simulator."

[3] http://www.alientechnology.com, "RFID systems."

[4] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd ed., West Sussex, England: Wiley, 2003.

[5] P. V. Nikitin, S. Lam, and K. V. S Rao, "Low cost silver ink RFID tag antennas," *in IEEE Antennas Propagat. Soc. Int. Symp.*, vol. 2B, pp. 353–356, July 2005.

[6] M. Hirvonen, P. Pursula, K. Jaakkola, and K. Laukkanen, "Planar inverted-F antenna for radio frequency identification," *Elect. Lett.*, vol. 40, pp. 848–850, July 2004.

[7] H. Kwon and B. Lee, "Compact slotted planar inverted-F RFID tag mountable on metallic objects," *Elect. Lett.*, vol. 41, pp. 1308–1310, Nov. 2005.